

Sistem Deteksi Kemurnian Minyak Goreng Dengan Menggunakan Metode Gelombang Ultrasonik

Asriawan Pasca Ramadhan¹, Abdul Ro'uf²

^{1,2}Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika,
FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia

e-mail: ¹asriawan.pasca.r@mail.umg.ac.id, ²rouf@mail.umg.ac.id

Abstrak

Minyak goreng curah merupakan bahan makanan yang banyak dipakai oleh masyarakat. Penjual menggunakan minyak goreng curah bekas untuk kemudian dicampur dengan minyak goreng curah yang baru atau bahkan mencampurkannya dengan bahan-bahan yang berbahaya. Uji lab diperlukan untuk mengetahui mutu dari minyak goreng, namun uji lab tersebut membutuhkan waktu yang lama dan juga dapat merusak kandungan dari minyak goreng tersebut sehingga tidak dapat digunakan kembali. Fokus penelitian ini adalah pembuatan suatu sistem yang dapat mendeteksi kemurnian minyak goreng dengan memanfaatkan metode pengukuran kecepatan gelombang tanpa merusak bentuk dan sifat minyak goreng.

Pengukuran kecepatan gelombang dilakukan dengan merambatkan gelombang ultrasonik pada objek dengan frekuensi gelombang 40 kHz. Nilai durasi waktu perambatan gelombang pada jarak 19,4 cm dicuplik dan digunakan untuk perhitungan kecepatan gelombang. Hasil perhitungan kecepatan gelombang tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat kemurnian minyak goreng. Kemudian dari hasil tingkat kemurnian yang didapat dianalisis dengan pendekatan terhadap nilai viskositas fluida. Hasil nilai kecepatan gelombang menunjukkan bahwa gelombang semakin cepat merambat jika tingkat kemurnian minyak goreng semakin tinggi dan menghasilkan korelasi positif dengan $R^2=0,9784$. Hasil analisis yang dilakukan dengan pendekatan terhadap viskositas fluida juga menunjukkan korelasi positif dengan $R^2=0,9999$. Rata-rata kecepatan rambat gelombang pada minyak goreng curah murni yaitu 1174,90 m/s.

Kata kunci Ultrasonik, minyak goreng, kemurnian, cepat rambat

Abstract

Bulk cooking oil is a food ingredient that is widely used by the public. The seller uses used bulk cooking oil to be mixed with new bulk cooking oil or even mixes it with harmful ingredients. Lab tests are needed to determine the quality of cooking oil, but the lab test requires a long time and can also damage the content of the cooking oil so it cannot be reused. The focus of this research is the creation of a system that can detect the purity of cooking oil by utilizing the wave velocity measurement method without damaging the shape and nature of the cooking oil.

Wave velocity measurements are carried out by propagating ultrasonic waves on objects with a wave frequency of 40 kHz. The value of the duration of the wave propagation time at a distance of 19.4 cm is sampled and used for the calculation of wave velocity. The

results of these wave velocity calculations are used to determine the purity level of cooking oil. Then the results of the purity level obtained were analyzed with an approach to the value of fluid viscosity. The results of the wave velocity values show that the waves propagate faster if the purity level of cooking oil is higher and produces a positive correlation with $R^2=0.9784$. The results of the analysis conducted with the approach to fluid viscosity also showed a positive correlation with $R^2= 0.9999$. The average wave velocity in pure bulk cooking oil is 1174.90 m/s.

Keywords *Ultrasonic, cooking oil, purity, wave velocity*

1. PENDAHULUAN

Minyak goreng merupakan bahan makanan yang dipakai pada proses menggoreng makanan. Minyak goreng diperoleh dengan pemurnian lemak dari bagian tumbuhan, hewan, atau bahan sintetik lainnya. Pada umumnya zat yang terdapat pada minyak goreng yaitu berupa lemak, vitamin A, karbohidrat, protein dan natrium. Minyak goreng di Indonesia rata-rata menggunakan bahan baku kelapa sawit dan memiliki standar yang sudah ditentukan oleh Badan Standarisasi Indonesia (BSN) yakni sertifikat SNI 7709:2012 tentang minyak goreng sawit. Berdasarkan ketetapan standar mutu minyak goreng sawit tersebut terdapat beberapa kriteria uji standar mutu minyak goreng sawit yang menjadi acuan dalam produksi dan pemasaran minyak goreng sawit di Indonesia. Namun standar itu belum terlaksana dengan baik mengakibatkan standar mutu belum terjamin sehingga banyak Penjual menggunakan minyak goreng curah bekas untuk kemudian dicampur dengan minyak goreng curah yang baru atau bahkan mencampurkannya dengan bahan-bahan yang berbahaya.

Para pelaku pemalsuan melihat bisnis jual-beli minyak goreng adalah bisnis yang menjanjikan. Para pelaku melakukan pemalsuan minyak goreng yang tidak memerlukan modal yang banyak namun mendapatkan hasil yang sangat besar. Bapak Mohamad Bachir selaku kepala Associate Laboratories menyatakan bahwa hasil uji lab terhadap minyak goreng oplosan mengandung senyawa berbahaya (racun) lebih tinggi dibanding minyak jelantah biasa. Kadar Senyawa itu memicu sel kanker menjadi ganas.

Dengan melewati gelombang ultrasonik dapat diketahui tingkat kekentalan minyak goreng sawit dari pembentukan lemak yang secara tidak langsung mengindikasikan terjadinya perubahan pada nilai viskositas fluida. Sehingga nantinya dapat diketahui hubungan antara cepat rambat gelombang ultrasonik yang dihasilkan dengan nilai viskositas fluida dari minyak goreng palsu.

Dengan menggunakan metode bola bermassa tetap yang dijatuhkan ke dalam sampel dan dihitung kecepatan jatuh bola, didapatkan suatu hubungan antara kecepatan jatuh bola dengan viskositas minyak adalah berbanding terbalik yaitu semakin kental minyak goreng maka kecepatan jatuh bola akan semakin pelan [1]. Selain melakukan pengukuran terhadap minyak goreng baru pakai, penelitian ini juga melakukan pengukuran terhadap minyak goreng yang sudah dipanaskan berkali-kali. Metode pengukuran masih sama yaitu menggunakan kecepatan jatuh bola bermassa dimana setiap sampel dipanaskan dengan suhu dan waktu yang sama. Hasil dari percobaan ini adalah semakin sering dan tinggi suhu pemanasan maka minyak goreng akan semakin kental atau viskositasnya semakin tinggi [1].

Peningkatan nilai viskositas pada minyak goreng disebabkan adanya partikel-partikel terlarut dari bahan baku yang digoreng. Semakin banyak partikel yang digoreng, gesekan antar partikel semakin besar dan menyebabkan nilai viskositas meningkat [2]. Selain itu, meningkatnya viskositas juga dapat dipengaruhi oleh terbentuknya senyawa polimer dalam minyak. Polimer merupakan senyawa yang terbentuk didalam minyak goreng akibat adanya pemanasan yang terus menerus dengan ataupun tanpa adanya oksigen [3].

Pada penelitian lain, penggunaan metode atenuasi gelombang ultrasonik berhasil melakukan karakteristik zat cair yang memiliki perbedaan fase terdispersi [4]. Suhu berpengaruh terhadap viskositas minyak goreng. Semakin tinggi suhu maka viskositas minyak goreng semakin rendah. Penurunan nilai viskositas disebabkan oleh berkurangnya gaya kohesi molekular akibat kenaikan suhu [5]. Pengujian mutu SNI terhadap minyak goreng memiliki banyak parameter seperti kadar air, bilangan asam lemak bebas, bilangan asam, dan bilangan peroksida. Tidak semua minyak goreng kemasan memenuhi semua syarat SNI minyak goreng, seperti bilangan asam lemak bebas yang terlalu rendah [6]. Kecepatan rambat gelombang dapat digunakan untuk mengukur nilai massa jenis zat cair dengan parameter kepadatan zat cair [7].

Bilangan peroksida yang tinggi disebabkan oleh minyak yang teroksidasi dan adanya pemanasan yang tinggi. Pemakaian minyak goreng yang berulang akan meningkatkan nilai bilangan peroksida. Peroksida dapat dijadikan standar penurunan mutu minyak goreng sawit karena kadar peroksida yang terbentuk menandakan lemak atau minyak sudah mengalami oksidasi [8]. Berdasarkan hasil penelitian, semakin tinggi suhu penggorengan vakum ikan lele, maka masa pakai minyak goreng semakin pendek dan konsumsi energi semakin kecil [9].

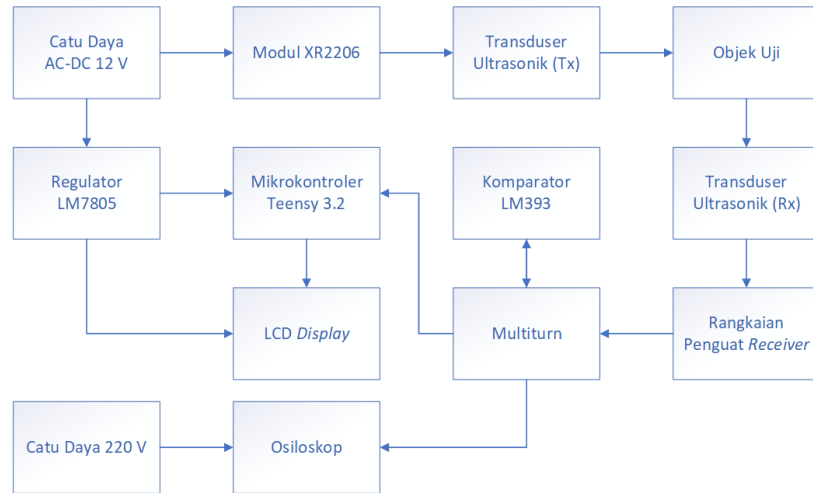
Kadar FFA dan bilangan peroksida dari minyak goreng cenderung tidak berbeda dari minyak yang digunakan pertama sampai keempat, begitu juga dengan rasio asam lemak tidak ada penurunan [10]. Kemudian penelitian yang terakhir, penggorengan vakum (*vacuum frying*) merupakan proses menggoreng pada tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer, hingga tekanan lebih kecil dari nol atau kondisi hampa udara. Proses penggorengan pada tekanan rendah ini akan menyebabkan titik didih minyak goreng juga lebih rendah [11].

Berdasarkan beberapa penelitian diatas maka dilakukan penelitian untuk membuat suatu sistem yang dapat mendeteksi kemurnian minyak goreng tanpa perlu dilakukannya pengujian laboratorium secara kimia dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan pendekatan analisis viskositas fluida. Frekuensi gelombang ultrasonik yang digunakan yaitu 40 kHz untuk kemudian didapatkan korelasi antara kecepatan rambat, tingkat kemurnian dan nilai viskositas minyak goreng curah.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara cepat rambat gelombang, tingkat kemurnian dan nilai viskositas minyak goreng curah secara non destruktif, sehingga sistem ini dapat membantu mendeteksi tingkat kemurnian minyak goreng curah dilihat dari analisis nilai viskositas minyak goreng. Penelitian yang dilakukan yaitu pengukuran cepat rambat gelombang yang memancarkan gelombang dalam suatu wadah yang memiliki dimensi panjang 20,6 cm, lebar 4 cm dan tinggi 4,2 cm dengan ketebalan bahan 0,3 cm. Volume minyak goreng dari setiap sampel ditentukan sebesar 200 m³. Transduser ultrasonik yang digunakan adalah transduser ultrasonik *waterproof* dengan frekuensi kerja 40 kHz. Adapun arsitektur sistem ditunjukkan pada Gambar 1.

Secara garis besar, sistem ini terbagi menjadi pemancar dan penerima. Pada bagian pemancar, terdapat rangkaian pemancar yang merubah energi listrik menjadi energi getaran dengan frekuensi ultrasonik dan rangkaian penerima sebagai yang bertugas penerima hasil perambatan gelombang yang telah melalui minyak goreng curah yang berfungsi merubah energi getaran menjadi listrik sehingga dapat dibaca dan ditampilkan pada LCD Display dan Serial Monitor.



Gambar 1 Arsitektur Sistem

Gelombang ultrasonik dibangkitkan menggunakan pembangkit gelombang oscillator XR-2206. Gelombang ultrasonik yang dibangkitkan oleh pembangkit gelombang yang terdapat dalam mikrokontroler Teensy dan diatur pada frekuensi 40 kHz sesuai dengan frekuensi kerja dari transduser yang digunakan. Gelombang yang telah merambat melewati minyak goreng curah kemudian diterima oleh transduser penerima.

2.1 Data

Data diambil dari enam sampel minyak goreng yang tiap sampel memiliki tingkat kemurnian masing-masing. Perbedaan tingkat kemurnian itu didapat dari 2 bahan yang berbeda, yaitu minyak goreng curah murni dan minyak goreng curah bekas yang sudah dipakai untuk menggoreng tempe sebanyak 4 kali. Tabel 1 menampilkan tingkat kemurnian dari tiap sampel objek uji.

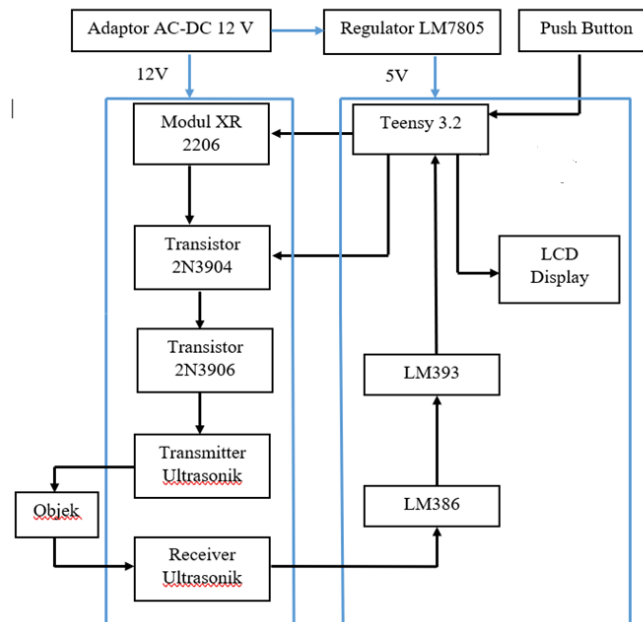
Tabel 1 Tingkat Kemurnian Objek Uji

Objek	Tingkat Kemurnian (%)
1	100%
2	80%
3	60%
4	40%
5	20%
6	0%

2.2 Perangkat Keras

2.2.1 Gambaran Umum Perangkat Keras

Rancangan perangkat keras digambarkan untuk pengambilan data ditunjukkan di blok diagram pada Gambar 2



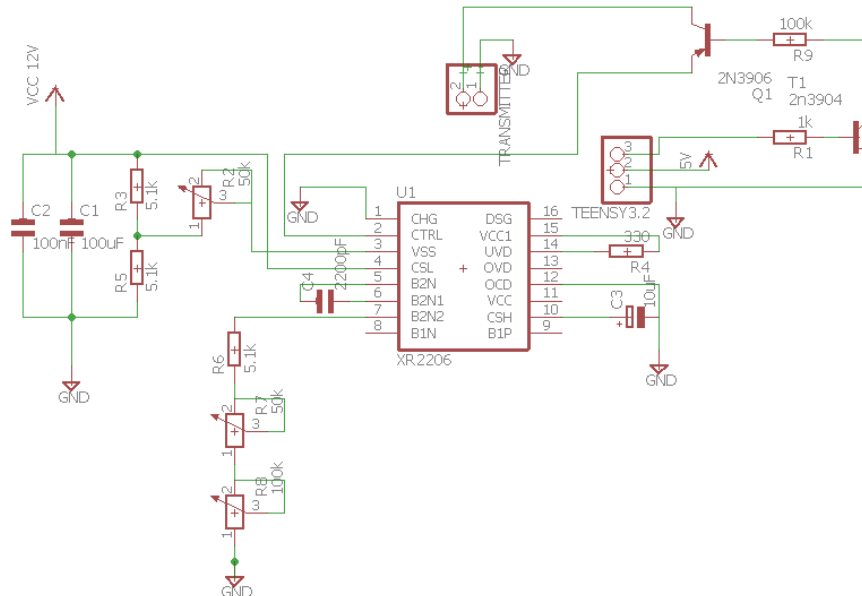
Gambar 2 Blok diagram perangkat keras

Perangkat ini menggunakan adaptor AC-DC 12V 1A sebagai sumber daya yang dapat menghasilkan tegangan konstan sebesar 12V dan dihubungkan ke modul osilator XR2206. Modul osilator XR2206 digunakan sebagai pembentuk gelombang sinus dengan frekuensi 40 kHz. Tegangan dari adaptor juga dihubungkan dengan regulator tegangan LM7805 agar dapat menghasilkan tegangan konstan 5V yang akan digunakan untuk mengoperasikan mikrokontroler Teensy 3.2, IC penguat tegangan LM386, IC komparator LM 393 dan LCD display.

Gelombang kemudian diteruskan ke transduser ultrasonik yang berjenis *waterproof*. Transducer akan merubah bentuk energi dari energi listrik mejadi energi getaran yang di lewatkan pada objek uji. Gelombang yang sudah dilewatkan pada objek uji akan diterima oleh *receiver*. Pada rangkaian receiver terdapat IC LM386 sebagai penguat tegangan gelombang yang diterima untuk memudahkan pengamatan. Hasil pengukuran akan di cuplik, diolah dan ditampilkan pada *LCD Display* dan *Serial Monitor*.

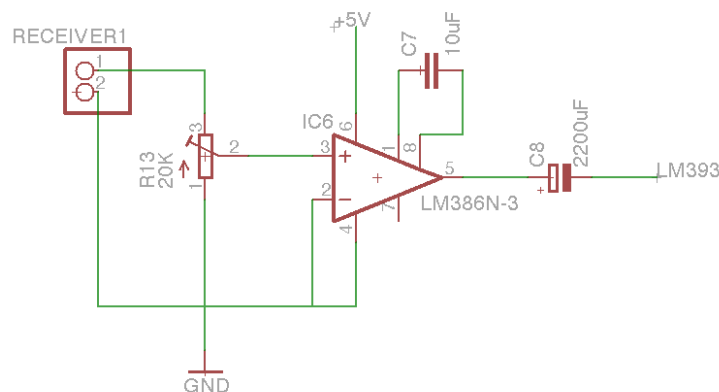
2.2.2 Rangkaian Transmitter

Pada rangkaian Transmitter terdapat pembangkit gelombang yang berguna untuk membangkitkan gelombang sinusoidal 40kHz. Pembangkit gelombang tersebut menggunakan modul XR2206. Modul XR2206 mampu menghasilkan gelombang sinus, kotak, dan segitiga dengan stabilitas dan akurasi yang tinggi. Frekuensi operasi modul XR2206 adalah sebesar 1 Hz sampai 1 MHz. Tegangan kerja maksimum yang dapat digunakan pada transduser ultrasonik adalah sebesar 20 V (Futurlec, 2010). Amplitudo gelombang yang dihasilkan IC XR2206 diatur sebesar 7,59 V agar dapat menembus minyak goreng dan bisa diterima oleh receiver ultrasonik dengan baik.

Gambar 3 Rangkaian *Transmitter*

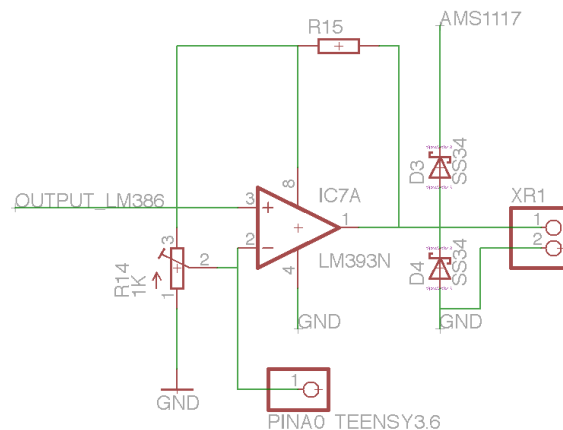
2.2.3 Rangkaian Receiver

Setelah sinyal dipancarkan oleh transmitter, gelombang akan ditangkap oleh sensor yang berfungsi sebagai receiver. Fungsi rangkaian penguat receiver adalah untuk menguatkan nilai tegangan sesuai dengan kebutuhan mikrokontroler yang digunakan untuk menghitung durasi tempuh dan kecepatan rambat gelombang. Selain itu penguatan gelombang juga akan mempermudah dalam pembacaan nilai tegangan serta pengamatan pola gelombang. Komponen yang digunakan untuk memperkuat tegangan pada receiver adalah Op-Amp LM386 dengan tegangan referensi 5V. Selain itu penguatan sinyal dilakukan agar nilai pembacaan dari tiap-tiap objek yang berbeda dapat terlihat dengan jelas sehingga nilai yang keluar dapat diterima oleh mikrokontroler Teensy 3.2. Keluaran sinyal penguatan diberi multivibrator untuk mengatur besar tegangan yang ingin dikeluarkan sesuai dengan kebutuhan mikrokontroler Teensy 3.2. Gelombang yang ditangkap oleh receiver dapat memberikan informasi mengenai waktu tempuh gelombang dari transmitter menuju receiver yang menjadi input pada mikrokontroler. Untuk mengamati pola gelombang serta frekuensi yang diterima bisa dilakukan dengan mengukur pada output multivibrator yang dilihat pada osiloskop.



Gambar 4 Rangkaian penguat *receiver*

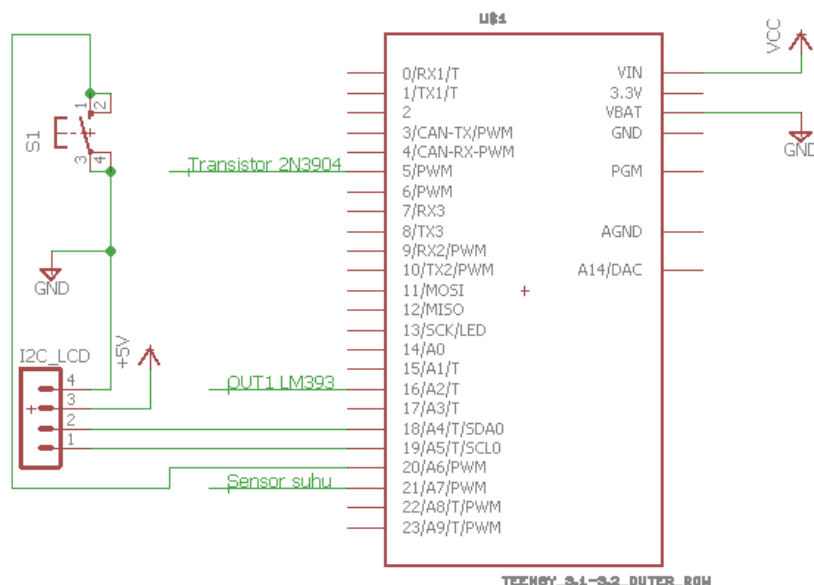
Setelah mengalami penguatan maka tegangan input akan dilalui menuju komparator IC LM393 guna mendeteksi gelombang yang akan diolah oleh Teensy. Tegangan input menuju Teensy setelah mengalami penguatan LM386 dihubungkan pada input positif (+) LM393 dan nilai tegangan yang berasal dari potensiometer dihubungkan pada input negatif (-) LM393. Tegangan yang berasal dari potensiometer berguna sebagai tegangan pembatas agar gelombang dapat dideteksi oleh Teensy.



Gambar 5 Rangkaian komparator

2.2.4 Rancangan Mikrokontroler

Pengendali pada sistem ini menggunakan mikrokontroler Teensy 3.2 yang digunakan untuk proses *switching* transmitter dengan cara mengaktifkan dan menonaktifkan transistor NPN 3904 dan PNP 3906. Untuk pemrosesan data, Teensy 3.2 digunakan untuk perhitungan waktu tempuh gelombang melalui objek uji dan dikonversi menjadi nilai kecepatan gelombang.



Gambar 6 Skematik Rangkaian Pengendali dan Pemroses Data

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

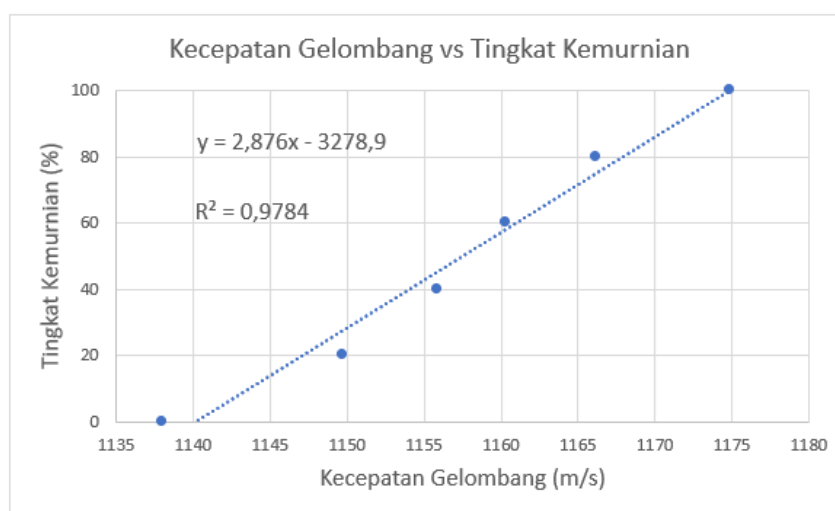
Dari pengambilan data yang telah dilakukan sebelumnya telah menghasilkan kumpulan data yang di kelompokkan menjadi kesimpulan yang dapat dianalisa lebih dalam. Data yang pertama adalah kecepatan rambat gelombang pada tiap objek minyak goreng yang didapatkan dari hasil perhitungan dari durasi waktu pancar gelombang yang didapat.

Tabel 2 Pengukuran kecepatan rambat gelombang pada minyak goreng yang telah dicampur dengan minyak goreng bekas

No	Tingkat Kemurnian Minyak Goreng					
	100%	80%	60%	40%	20%	0%
1	165,3	166,6	167,3	167,7	168,6	169,4
2	165,6	166,5	166,9	168,0	168,6	170,4
3	164,7	165,7	167,1	168,1	169,0	170,6
4	165,0	166,3	167,4	167,8	168,9	169,7
5	165,3	166,6	167,2	168,0	168,5	170,4
6	165,2	166,4	167,2	167,6	168,7	170,6
7	164,6	166,5	167,1	167,6	169,0	170,2
8	164,7	166,1	167,3	168,0	168,7	172,4
9	165,8	166,7	167,4	167,9	168,4	171,7
10	165,1	166,2	167,1	167,7	169,0	169,3
Rata- rata	165,12	166,36	167,20	167,84	168,74	170,47
Kecepatan (m/s)	1174,90	1166,15	1160,29	1155,86	1149,70	1138,03

Berdasarkan Tabel 2 waktu tempuh gelombang akan meningkat seiring dengan menurunnya tingkat kemurnian minyak goreng curah sehingga kecepatan rambat gelombang mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang semakin cepat merambat jika tingkat kemurniannya semakin tinggi. Kecepatan rambat gelombang pada objek uji ditentukan berdasarkan kalibrasi kecepatan gelombang pada air.

Hubungan antar kecepatan gelombang dengan tingkat kemurnian pada minyak goreng curah ditentukan berdasarkan analisis grafik regresi linear. Gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan kecepatan dengan tingkat kemurnian.



Gambar 7 Grafik perbandingan kecepatan gelombang dengan tingkat kemurnian

Korelasi antara nilai x dan y memiliki nilai korelasi yang cukup tinggi karena nilai $R^2 = 0,9784$. Tingkat kemurnian yang diperoleh setelah proses kalibrasi adalah 2,876 kali kecepatan terukur dikurangi 3278,9. Tabel 3 menunjukkan perbandingan antara tingkat kemurnian pada objek dengan tingkat kemurnian setelah kalibrasi.

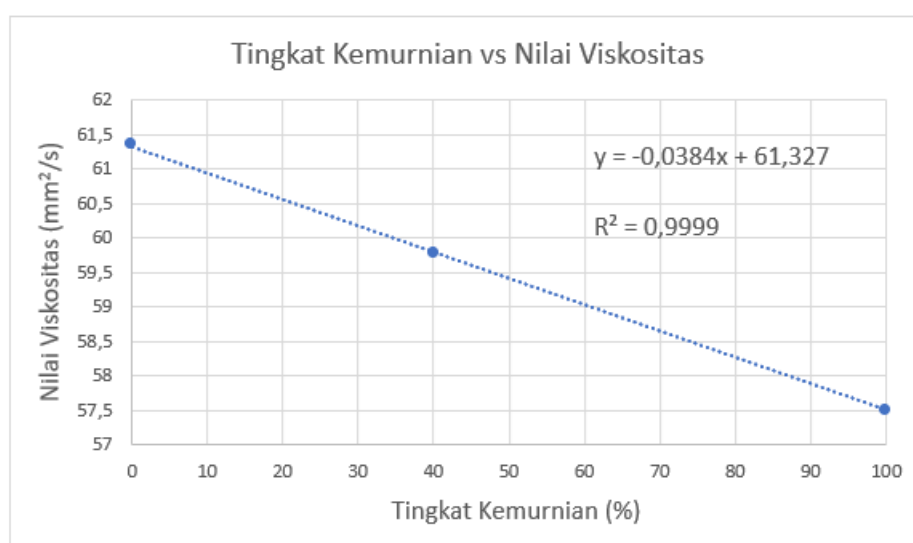
Tabel 3 Tabel Tingkat Kemurnian

Kecepatan (m/s)	Kemurnian (%)	Kemurnian pada Sistem (%)
1174,90	100	100,112
1166,15	80	74,9497
1160,29	60	58,094
1155,86	40	45,362
1149,70	20	27,6314
1138,03	0	-5,92572

Objek uji yang telah divariasikan menjadi enam jenis berdasarkan tingkat kemurnian dicari nilai viskositas untuk menentukan murni atau tidaknya minyak goreng. Pengujian nilai viskositas dilakukan dengan metode American Standard Testing and Material D-445 di Laboratorium Batu dan Mineral Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM. Tabel 4 menunjukkan nilai viskositas untuk masing-masing variasi objek. Hubungan antara tingkat kemurnian dengan nilai viskositas terdapat pada Gambar 8.

Tabel 4 Nilai Viskositas Pada Minyak Goreng Curah

Tingkat Kemurnian (%)	Nilai Viskositas (mm^2/s)	Batas Nilai Viskositas (mm^2/s)	Kelayakan	Murni
100	57,50	57,5	Murni	M
40	59,77	57,5	Tidak Murni	TM
0	61,34	57,5	Tidak Murni	TM



Gambar 8 Grafik Tingkat Kemurnian dengan Nilai Viskositas

Korelasi antara nilai x dan y memiliki nilai korelasi yang tinggi karena nilai $R^2=0,9999$. Nilai viskositas diperoleh setelah proses kalibrasi adalah minus 0,0384 kali tingkat kemurnian ditambah 61,327. Tabel 5 menunjukkan perbandingan antara nilai viskositas yang diukur menggunakan metode ASTM D-445 dengan nilai viskositas yang diukur dengan sistem gelombang ultrasonik.

Tabel 5 Perbandingan Nilai viskositas ASTM D-445 dengan metode gelombang ultrasonik

Kemurnian	ASTM D-445 (mm ² /s) (KS)	Gelombang Ultrasonik (KT)	KS-KT
100	57,50	57,487	0,013
40	59,77	59,791	0,021
0	61,34	61,327	0,013

Selisih pengukuran nilai viskositas metode ASTM D-445 dengan metode gelombang ultrasonik menunjukkan tingkat akurasi dari pengukuran yang dilakukan. Semakin kecil selisih pengukuran maka tingkat akurasi semakin tinggi begitu sebaliknya jika selisih semakin besar maka tingkat akurasi semakin buruk. Selisih untuk pengukuran terkecil yaitu terjadi pada objek uji dengan tingkat kemurnian 100% dan 0% dan selisih terbesar terdapat pada objek uji dengan tingkat kemurnian 40%. Besarnya selisih pengukuran tersebut dinyatakan dalam bentuk kesalahan relative (KR).

Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan kesalahan relatif nilai viskositas pada objek minyak goreng dengan variasi tingkat kemurnian.

Tabel 6 Kesalahan relatif pengukuran nilai viskositas

Kemurnian (%)	ASTM D-445 (mm ² /s) (KS)	Gelombang Ultrasonik (KT)	KS-KT	KR(%)	Akurasi(%)
100	57,50	57,487	0,013	0,023	99,98
40	59,77	59,791	0,021	0,035	99,96
0	61,34	61,327	0,013	0,021	99,98
Rata- rata				0,026	99,97

Hasil perhitungan kesalahan relatif pengukuran nilai viskositas pada Tabel 6 didapatkan nilai kesalahan relatif (KR) rata- rata sebesar 0,026% dan tingkat akurasi yang mencapai 99,97% yang menandakan bahwa sistem telah cukup baik untuk melakukan pengukuran nilai viskositas.

4. KESIMPULAN

Waktu tempuh gelombang akan meningkat seiring dengan menurunnya tingkat kemurnian minyak goreng curah sehingga kecepatan rambat gelombang mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang semakin cepat merambat jika tingkat kemurniannya semakin tinggi. Nilai korelasi dari analisis antara kecepatan gelombang dengan tingkat kemurnian memiliki korelasi yang cukup tinggi dengan nilai $R^2=0,9784$. Kemudian hasil selanjutnya menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat kemurnian minyak goreng maka nilai viskositasnya akan semakin menurun. Analisis yang didapat antara tingkat kemurnian dengan nilai viskositas memiliki nilai korelasi yang tinggi dengan nilai $R^2=0,9999$. Dari hasil perhitungan kesalahan relatif pengukuran viskositas menunjukkan hasil sebesar 0,026% dan tingkat akurasi sebesar 99,97%.

5. SARAN

Penggunaan pencampur objek uji yang lebih mengacu pada realita yang ada, sehingga dapat lebih mendekati permasalahan yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Teknologi *et al.*, “Pengukuran Viskositas Beberapa Produk Minyak Goreng Kelapa Sawit Setelah Pemanasan Viscosity Measurement of Palm Cooking Oil Products After Heating,” vol. 09, no. 01, 2017, doi: 10.17969/jtipi.v9i1.6108. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/319495242_Pengukuran_Viskositas_beberapa_Produk_Minyak_Goreng_Kelapa_Sawit_setelah_Pemanasan/download
- [2] H. Herlina, E. Astriyaningsih, W. S. Windarti, and N. Nurhayati, “TINGKAT KERUSAKAN MINYAK KELAPA SELAMA PENGGORENGAN VAKUM BERULANG PADA PEMBUATAN RIPE BANANA CHIPS (RBC) Degree of Coconut Oil Rancidity During Recycled Vacuum Frying for Production of Ripe Banana Chips (RBC),” *J. Agroteknologi*, vol. 11, no. 02, pp. 186–193, 2017.
- [3] Budiyanto, D. Silsia, and L. M. L. Tobing, “Analisa Kualitas Minyak Goreng pada Penggorengan Berulang Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) Berdasarkan Parameter Asam Lemak Bebas, Titik Asap, Indeks Bias, dan Viskositas,” *J. Agroindustri*, vol. 5, no. 1, pp. 36–43, 2015.
- [4] Q. Su, C. Tan, and F. Dong, “Measurement of phase fraction in oil-water two-phase flow using ultrasound attenuation method,” *Proc. - 2015 Chinese Autom. Congr. CAC 2015*, pp. 1890–1895, 2016, doi: 10.1109/CAC.2015.7382812.
- [5] Y. Damayanti, A. D. Lesmono, and T. Prihandono, “Goreng Sebagai Rancangan Bahan Ajar Petunjuk,” *Progr. Stud. Pendidik. Fis. FKIP Univ. Jember*, vol. 1, no. 2, pp. 307–314, 2016.
- [6] I. R. Lempang, Fatimawali, and N. C. Pelealu, “Uji Kualitas Minyak Goreng Curah Dan Minyak Goreng Kemasan Di Manado,” *PHARMACON J. Ilm. Farm.*, vol. 5, no. 4, pp. 155–161, 2016.
- [7] N. B. Prawira and A. Rouf, “Perancangan Alat Ukur Massa Jenis Zat Cair Menggunakan Cepat Rambat Gelombang Ultrasonik,” *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.)*, vol. 8, no. 2, p. 143, 2018, doi: 10.22146/ijeis.24481.
- [8] A. S. Suroso, “Kualitas Minyak Goreng Habis Pakai Ditinjau dari Bilangan Peroksida , Bilangan Asam dan Kadar Air,” *J. Kefarmasian Indones.*, vol. Vol 3, no. 2, pp. 77–88, 2013.
- [9] R. Anwariyah, A. Lastriyanto, and S. H. Sumarlan, “Efek Penggorengan Berulang Menggunakan Vacuum Frying terhadap Kualitas Fisik dan Kimia Minyak Goreng pada Penggorengan Ikan Lele (*Clarias Gariepinus* B .) The Effect of Repeated Frying Using Vacuum Frying on Physical and Chemical Quality of Cooking Oil in Catfish Frying (*Clarias Gariepinus* B .),” vol. 6, no. 2, pp. 172–178, 2018.
- [10] I. M. B. Ilmi, “Kualitas Minyak Goreng dan Produk Gorengan selama Penggorengan di Rumah Tangga Indonesia,” *J. Apl. Teknol. Pangan*, vol. 04, no. 02, pp. 61–65, 2015, doi: 10.17728/jatp.2015.12.
- [11] N. F. Shofiyatun and I. W. Budiastara, “Optimasi Proses Penggorengan Vakum (Vacuum Frying) Keripik Daging Sapi,” *Tek. Mesin dan Biosist.*, vol. Bachelor, 2012.